

Kuva 1. Malleilla ennustettu mustikan peittävyys eri kasvupaikoilla (vasemmalla) ja keskimääräinen vuotuinen mustikkasato tuoreen kankaan männikössä Etelä-Suomessa (oikealla). Metsikön kehitys on ennustettu Motti-simulaattorilla, ja harvennukset (nuolet) ja päätehakkuu on simuloitu metsänhoidon suositusten mukaisesti.

tävyys selitti merkittävästi marjojen lukumäärää. MASI-aineiston männiköissä mustikkasadot olivat kaksinkertaiset kuusikoiden satoihin verrattuna; myös marjasatojen suhteellinen vuosien välinen vaihtelu oli pienempi männiköissä kuin kuusikoissa.

Malleilla tehtyjen ennusteiden mukaan Etelä-Suomessa tuoreella kankaalla keskimääräinen vuotuinen mustikkasato lisääntyy metsikön varttuessa ja oli noin 20 kg ha^{-1} ensiharvennusvaiheen männikössä (kuva 1) ja noin 10 kg ha^{-1} ensiharvennusvaiheen kuusikossa. Varttuneen kasvatusmetsän männikössä keskimääräinen mustikkasato oli noin $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (95 %:n luottamusväli $9\text{--}73 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja kuusikossa noin $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($3\text{--}35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)).

Tutkimuksessa esitetyt empiiriset mallit laadittiin liitettäväksi olemassa oleviin metsikkösimulaattoreihin, joita käytetään metsänhoidon suunnittelun ja metsäsuunnittelun apuvälineinä. Satomallien käytettävyys paranee, kun mustikan peittävyteen ja mustikkasatoihin vaikuttavat puustotunnukset (mm. valtapuulaji, puuston pohjapinta-ala ja ikä) mitataan myös MASI-aineiston seurantametsiköistä. Tämän jälkeen mustikkasadot ja niiden vuotuinen vaihtelu voidaan ennustaa kivennäismaiden metsiköille koko Suomessa.

■ MMT Jari Miina, FL Juha-Pekka Hotanen ja FL Kauko Salo, Metla, Joensuun toimipaikka
Sähköposti jari.miina@metla.fi

Jaakko Repola

Männyn ja kuusen biomassamallit Suomessa

Seloste artikkelista: Repola, J. 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4): 625–647.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf434625.pdf>

Tutkimuksessa laadittiin männylle (*Pinus sylvestris*) ja kuuselle (*Picea abies* [L.] Karst.) biomassan ennustemallit, joilla voidaan ennustaa puun rungon, kuoren, oksien, neulasten sekä kannon ja juurten biomassat (kuivamassat). Mallien laadinta-aineisto koostuu 77 eri puolella Suomea sijaitsevista kivennäismaan metsiköistä, joista oli kerätty kaikkiaan 1 521 koeputta (908 mäntyä ja 613 kuusta).

Regressiomallit laadittiin puun eri osille sekä maanpäälliselle kokonaisbiomassalle. Maanpäällisille puun osille laadittiin kolme erilaista biomassamallia ja kanto- ja juuribiomassalle kummallekin yksi. Yksinkertaisimmassa mallissa selittäjinä käytettiin puun läpimittaa ja pituutta. Yksityiskohtaisemmat mallit perustuivat pituuden ja läpimitan lisäksi yleisesti metsäninventoinnissa mitattaviin muuttujiin.

Mallia rakennettaessa taustaoletuksena oli, että puun eri osien väliset biomassasuhteet eivät ole

riippumattomia ja ne vaihtelevat puusta ja metsiköstä toiseen. Nämä tekijät otettiin huomioon soveltamalla mallien laadinnassa menetelmää, jossa puun eri osamallien (runko, kuori, neulaset, oksat) parametrit estimoitiin yhtäaikaaisesti (monivastemalli). Näin voitiin hyödyntää parametrien estimoinnissa tehokkaasti osamallien välisiä korrelaatioita ja tuottaa informaatiota puun eri osien välisistä korrelaatioista.

Laadituilla monivastemalleilla saavutettiin etuja verrattuna menetelmään, jossa puun eri osamallit oletetaan riippumattomaksi. Monivastemallin rakenne mahdollistaa joustavamman ennusteiden kalibroimisen uuteen metsikköön, jos biomassassa on mitattu yhdestäkin puun osasta. Tällöin voidaan tuottaa kalibroitu biomassannuste kaikille puun osille. Monivastemallissa osamallien kovarianssien avulla voidaan laskea myös ennustevirheet mille tahansa puun eri osien kombinaatioille. Tämä ei ole mahdollista, jos mallit on estimoitu riippumattomina. Yleensä biomassamallien ongelmana on, että osamallien summasta ei saada samaa tulosta kuin puun koko biomassaa ennustavalla mallilla. Monivastemallit tuottivat myös tältäkin osin parempia tuloksia kuin erikseen, riippumattomina estimoidut osamallit.

Laaditut mallit tuottavat johdonmukaisia ennusteita puun eri osien biomassoista ja niiden suhteista. Mallit ovat käyttökelpoisia laajalla alueella Suomessa ja tuottavat loogisia tuloksia muihin Pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin verrattuna. Aineisto asettaa kuitenkin rajansa mallien soveltamiselle. Aineisto rajoittui kivennäismaan metsiköihin, joten turvemailla kuten myös maan pohjoisimmasa osassa mallien käyttökelpoisuus on epävarmaa. Yleisperiaatteena mallien soveltamiselle on, että aina tulisi käyttää malleja jotka perustuivat pituuden ja läpimitan lisäksi muihin yleisesti metsien inventoimisiin käytettyihin muuttujiin. Näin voidaan paremmin ottaa huomioon eri tekijöiden vaikutus puun biomassaan tai puun eri osien välisiin biomassasuhteisiin ja pienentää aineiston edustavuudesta aiheutuvaa harhaa.

■ MMM Jaakko Repola, Metla, Rovaniemen toimipaikka. Sähköposti jaakko.repola@metla.fi

Juho Rantala, Pertti Harstela,
Veli-Matti Saarinen ja Leo Tervo

Bracke- ja M-Planter-istutuslaitteiden teknis-taloudellinen vertailu

Seloste artikkelista: Rantala, J., Harstela, P., Saarinen, V.-M. & Tervo, L. 2009. A techno-economic evaluation of Bracke and M-planter tree planting devices. *Silva Fennica* 43(4): 659–667.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf434659.pdf>

Metsänistutustyön teknis-taloudellisesti järkevä koneellistaminen on osoittautunut vaikeaksi tehtäväksi pohjoismaisissa olosuhteissa. Erilaisia istutuskoneita ja -laitteita on kehitetty 1970-luvulta lähtien, mutta aina viime vuosiin asti konetyön kustannukset ovat olleet metsurityönä toteutettua istutusta ja siihen liittyvää erillistä maanmuokkausta korkeammat. Vielä nykyäänkin istutustyöstä alle 5 % tehdään koneellisesti. Paineet metsänhoitotöiden koneellistamiseen ovat kuitenkin viime vuosina kasvaneet metsätöihin odotettavissa olevan työvoimapulan sekä laskevista kantohinnoista ja nousevista metsänhoitokustannuksista johtuvan metsätalouden kannattavuuden heikkenemisen myötä. Toisaalta yleinen tekninen kehitys ja työolosuhteissa tapahtuneet muutokset hakkuutähteen energiakäytön lisääntymisen myötä ovat helpottaneet istutustyön koneellistamista.

Metsänistutuksen teknis-taloudellisesti järkevä koneellistaminen voidaan määritellä siten, että peruskoneen ja istutuslaitteen kokonaiskustannukset eivät saa olla liian korkeat suhteessa yhdistelmällä saavutettavaan työn tuottavuuteen. Nykyisillä palkka- ja konekustannuksilla tästä seuraa, että yhdistelmän tulee tehdä sekä maanmuokkaus- että istutustyöt. Voidaan myös olettaa, että soveltamalla joukkokäsittelyä ja jatkuvatoimista etenemistapaa sekä mm. ohjaus-, aistin- ja informaatioteknologioiden suomia mahdollisuuksia työn tuottavuutta voidaan edelleen parantaa. Teknis-taloudellisten reunaehtojen lisäksi työpöytälaadun pitää olla vähintään samaa tasoa metsurityönä toteutetun istutuksen ja erillisen maanmuokkauksen kanssa.

Taulukko 1. Työvaikeustekijöiden vaikutus Bracken ja M-Planterin välisiin käyttötuntikohtaisiin tuottavuus- ja kustannuseroihin.

		Työvaikeustekijä								
		Kivisyys, %			Hakkuutähdepeitto, %			Kantojen lkm, ha ⁻¹		
		0	25	50	0	15	30	0	400	800
M-Planter	Tuottavuus	52,1	36,9	18,0	30,2	40,4	52,7	46,6	37,4	27,5
verrattuna Brackeen, %	Yksikkökustannukset	-31,5	-24,0	-11,8	-20,0	-25,9	-31,8	-29,0	-24,2	-18,3

Tässä tutkimuksessa vertailtiin Bracke- ja M-Planter-istutuslaitteita, jotka asennettiin keskiraskaan telakaivinkoneen puomin päähän. Molempien istutuslaitteiden päällä on taimikasetti, jonka kuljettaja täyttää Brackella 2–3 kertaa ja M-Planterilla 1–2 kertaa tehollisen työtunnin aikana. Molemmat laitteet tekevät sekä maanmuokkaus- että istutustyön. Maanmuokkausmenetelmänä on molemmissa laitteissa laikkumätätys. Aiemmista tutkimuksista tiedetään, että Brackella on suotuisissa olosuhteissa edellytykset sekä kustannuksiltaan että laadultaan kilpailukykyiseen työsuoritukseen verrattuna metsurityöhön ja erilliseen kaivinkoneella tehtävään laikkumätätystyöhön. M-Planterin tuottavuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä ei ole tutkittu aikaisemmin.

Tutkimus toteutettiin vertailevana työntutkimuksena. Aineiston käsittelyssä päämenetelmänä oli regressioanalyysi. Aineisto kerättiin seitsemältä eri tavoin käsitellyltä uudistushakkuuohkolta, jolloin havaintoja istutuslaitteiden työn tuottavuudesta saatiin kivisyyden sekä hakkuutähteiden ja kantojen määrän suhteen vaihtelevista olosuhteista. Istutuksen kustannuslaskelmissa kaivinkoneen kiinteät kustannukset otettiin huomioon istutuksen käyttötuntien osuutena vuotuisista käyttötunneista. Oletuksena oli, että kaivinkone on työllistetty myös istutuskauten ulkopuolella.

Kokeessa oli mukana kaksi kuljettajaa, jotka molemmat käyttivät molempia istutuslaitteita. Brackella kahden ja M-Planterilla yhden taimikasetin istutustyö käsiteltiin aineiston analyysissä yhtenä toistona. Kuljettajat istuttivat joka loholla molemmilla istutuslaitteilla 3–4 toistoa. Yhteensä aineisto muodostui 106 toistosta (Bracke 54 kpl; M-Planter 52 kpl), joissa istutettiin yhteensä 16 200 kuusen tainta. Työvaikeustekijät mitattiin toistoittain. Kivisyyspro-

sentti vaihteli 0 ja 59 välillä (keskim. 26 %), hakkuutähdepeittoprosentti 0 ja 37 välillä (9 %) ja kantojen lukumäärä 0 ja 1 266 ha⁻¹ välillä (460 ha⁻¹).

Tehollisen työajan jakautumisessa eri työvaiheisiin ei ollut merkittäviä eroja istutuslaitteiden välillä; työajasta vajaa puolet (47 %) kului varsinaiseen istutus- ja maanmuokkaustyöhön, noin neljännes kaivinkoneen puomin siirtelyyn, noin 15 % taimikasetin täyttöön ja loput hakkuutähteiden siirtelyyn ja peruskoneen ajamiseen.

Tässä tutkimuksessa työvaikeudeltaan keskimääräisissä olosuhteissa M-Planterin (236 tainta/tunti) käyttötuntituottavuus oli 36 % korkeampi kuin Bracken (174 tainta/tunti). Näillä tuottavuustasoilla laskettuna istutuksen yksikkökustannukset olivat M-Planterilla (0,26 €/taimi) 23 % Brackea (0,34 €/taimi) edullisemmat. Merkittävin tuottavuuden vaihtelua selittävä tekijä oli molemmilla istutuslaitteilla kuljettaja. Kivisyyden ja kantojen lukumäärän kasvu hidasti M-Planterin työtä enemmän kuin Bracken. Toisaalta hakkuutähteiden määrän lisääntyminen heikensi Bracken tuottavuutta enemmän kuin M-Planterin (taulukko 1).

Koneellisissa metsätoissa kuljettajan vaikutus työn tuottavuuteen on tunnetusti suuri. Tämä asettaa rajoitteita tämänkin tutkimuksen tulosten yleistettävyydelle. Toisaalta tässä tutkimuksessa tehdyt havainnot ovat hyvin linjassa aiemman tutkimustiedon kanssa. Istutuslaitteen tuottavuuspotentiaalia analysoitaessa lienee kuitenkin perusteltua tarkastella istutuslaitteen tuottavuutta vain sen kuljettajan osalta, jolla oli aiempaa työkokemusta kyseisen laitteen käytöstä.

Tulosten perusteella maanmuokkaus- ja istutustyö on työvaikeudeltaan keskimääräisillä kohteilla M-Planterilla edullisempaa kuin metsurityönä ja

erillisenä maanmuokkauksena, kun taas Bracken kustannukset ovat hieman metsurityöhön perustuvaan työketjua korkeammat. Tutkimuksessa esitetyt kustannusluvut eivät kuitenkaan ole sama asia koneellisen istutustyön markkinahinnan kanssa, koska esimerkiksi yrittäjäriskiä ei ole otettu huomioon kustannusten laskennassa. Lisäksi on huomattava, että työntutkimuksissa on usein havaittu jopa kymmeniä prosentteja korkeampia tuottavuusarvoja kuin samojen koneiden pidempiaikaisissa käytännön seuranta tutkimuksissa.

Istutuslaitteiden tuottavuuden näkökulmasta keskeisiä tekijöitä ovat osaavat kuljettajat ja onnistunut kohdevalinta. Käytännössä myös työn organisoinnin ja taimihuollon onnistuminen ovat tärkeitä tekijöitä hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Molempien istutuslaitteiden tuottavuutta voitaisiin nostaa 5–10 %, jos taimien lataamiseen kuluva aika saataisiin teknisen kehityksen seurauksena puolitettua. Tulevaisuudessa koneellisen istutustyön tuottavuuden merkittävä nousu edellyttää esimerkiksi jatkuvatoimisuuteen tai korkeamman teknologian hyödyntämiseen perustuvaa teknologiahyppyä.

■ MMT Juho Rantala, prof. Pertti Harstela, MMM Veli-Matti Saarinen, Mti Leo Tervo, Metla, Suomenjoen toimipaikka. Sähköposti juho.rantala@metla.fi

Mikko Havimo, Juha Rikala, Jari Sirviö ja Marketta Sipi

Trakeidien poikkileikkausdimensiot männyssä – jakaumia ja vertailu kuuseen

Seloste artikkelista: Havimo, M., Rikala, J., Sirviö, J. & Sipi, M. 2009. Tracheid cross-sectional dimensions in Scots pine (*Pinus sylvestris*) – distributions and comparison with Norway spruce (*Picea abies*). *Silva Fennica* 43(4): 681–688. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf434681.pdf>

Puu on luonnonmateriaali, jonka eri ominaisuuksissa on huomattavaa vaihtelua. Tämä vaihtelu vaikeuttaa puun teollista käyttöä, sillä se han-

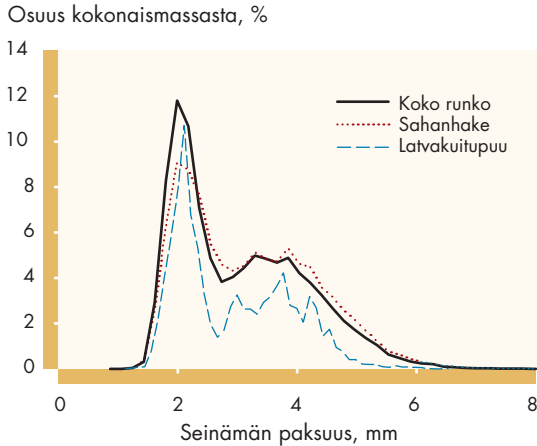
kaloittaa puun prosessointia ja näkyy vaihteluna lopputuotteen ominaisuuksissa. Vaihtelua voidaan pienentää jakamalla puuraaka-aine erilaisiin ositeisiin, joiden sisäinen vaihtelu on pienempää kuin alkuperäisen raaka-aineen vaihtelu. Jotta tällainen vaihtelun kontrollointi olisi mahdollista, tarvitaan tarkkaa tietoa ominaisuuksista ja niiden vaihtelun laajuudesta.

Trakeidien poikkileikkausdimensiot eli soluseinämän paksuus ja trakeidin säteen ja tangentin suunnat läpimitat, vaikuttavat puusta valmistettävien papereiden ominaisuuksiin. Erityisesti soluseinämän paksuudella on merkittävä vaikutus paperin optiisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin, joten kontrolloimalla raaka-aineen seinämän paksuutta voidaan näitä paperin ominaisuuksia todennäköisesti parantaa merkittävästi.

Kuusen trakeidien poikkileikkausdimensiota ja niiden vaihtelua tutkittiin *Silva Fennica* numerossa 42(1) julkaistussa artikkelissa. Tässä tutkimuksessa puolestaan käsitellään poikkileikkausdimensioiden vaihtelua männyssä käyttämällä samaa mittaus- ja analyysimenetelmää kuin edellisessäkin tutkimuksessa. Koska mittausaineisto on hankittu samasta metsiköstä kuin kuusen mittausaineisto, voidaan tutkimuksessa myös vertailla männyin ja kuusen poikkileikkausdimensioita.

Tutkimuksessa käsiteltiin poikkileikkausdimensioiden jakaumia sahanhakkeessa ja latvakuitupuussa. Kuusitutkimuksessa kehitetyn tietokoneohjelman avulla luotiin mittausaineistosta ensin virtuaalisia puita, joista edelleen muodostettiin virtuaalinen metsä. Jakaumat taas muodostettiin osittamalla metsän rungoista sahanhake ja latvakuitupuun erikseen, joiden lisäksi käytettiin referenssinä osittamatonta ”koko runko” -luokkaa. Lisäksi virtuaalimetsästä saatava raaka-aine ositettiin erikseen vielä kesä- ja kevätpuutrakeideihin. Jakaumien lisäksi eri ositteille laskettiin myös keskiarvot.

Kuva 1 esittää soluseinämän paksuuden vaihtelua latvakuitupuussa, sahanhakkeessa ja koko runko -luokassa. Jakaumat ovat kaksihuippuisia, joista korkeampi huippu muodostuu kevätpuutrakeideista ja matalampi kesäpuutrakeideista. Eri ositteet poikkeavat toisistaan vain vähän; suurin ero on latvakuitupuun kesäpuutrakeidien pienempi osuus verrattuna sahanhake ja koko runko -luokkiin. Jakamalla raaka-aine sahanhakkeeseen ja latvakuitupuuhun ei



Kuva 1. Soluseinämän paksuuden vaihtelu latvakuitupuussa, sahanhakkeessa ja koko runko -luokassa.

soluseinämän paksuutta pystytään siis juurikaan muuttamaan. Myös eri ositteiden keskiarvot ovat hyvin samanlaisia. Soluseinämän paksuus kevätpuussa on sahanhakkeessa 2,1 μm , latvakuitupuussa 2,0 μm ja koko runko -luokassa 2,0 μm .

Myös erot tangentin ja säteen suuntaisissa läpimitoissa ovat melko pieniä eri ositteiden välillä. Sahanhakkeessa kevätpuun säteen suuntainen läpimitta on keskimäärin 34 μm , kun taas latvakuitupuussa läpimitta on 33 μm . Tangentin suuntaisen läpimitan keskiarvo on latvakuitupuun ja sahanhakkeen kevätpuussa molemmissa 31 μm .

Huomattavasti suurempia eroja saadaan aikaan, jos raaka-aine jaetaan kesä- ja kevätpuutrakeideihin. Tällöin soluseinämän paksuus on kevätpuussa 2,0 μm ja kesäpuussa 3,7 μm . Käytännössä trakeidien jakaminen kevätpuu- ja kesäpuutrakeideihin voidaan tehdä sellun keittämisen jälkeen hydrocycloneilla, jotka pystyvät fraktioimaan trakeidit niiden seinämän paksuuden mukaan. Menetelmää on kehitetty laboratoriomittakaavassa, ja sillä pystytään tehokkaasti erottelemaan kesä- ja kevätpuutrakeidit toisistaan, mutta tehdasmittakaavan laitteita ei vielä ole olemassa.

Tutkimuksessa verrattiin myös männyn ja kuusen poikkileikkausdimensioita. Puunäytteet otettiin samasta metsästä, joten maaperän, ilmaston ja metsänkäsittelyiden vaikutukset ovat olleet molemmille puulajeille samanlaiset. Poikkileikkausdimensiot

ovat molemmissa puulajeissa keskimäärin hyvin samanlaiset. Esimerkiksi kevätpuussa soluseinämän paksuus on kuusella 2,1 μm ja männyllä 2,0 μm . Myös trakeidin säteen ja tangentin suuntaiset läpimitat ovat molemmissa puulajeissa keskimäärin samanlaiset. Keskiarvot on laskettu kuitenkin hyvin suuresta aineistosta, jossa erot yleensä tasoittuvat. Verrattaessa yksittäisiä trakeideja puulajien välillä voi huomattaviakin eroja löytyä.

■ MMM Mikko Havimo, MMT Juha Rikala, prof. Marketta Sipi, Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos; MMT Jari Sirviö, VTT. Sähköposti mikko.havimo@helsinki.fi

Heikki Hänninen, Jaana Luoranen, Risto Rikala ja Heikki Smolander

Myöhäinen pakkasvarastoinnin päättäminen lisää kuusentaimien pakkasvaurioriskiä syksyllä

Seloste artikkelista: Hänninen, H., Luoranen, J., Rikala, R. and Smolander, H. 2009. Late termination of freezer storage increases the risk of autumn frost damage to Norway spruce seedlings. *Silva Fennica* 43(5): 817–830.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf435817.pdf>

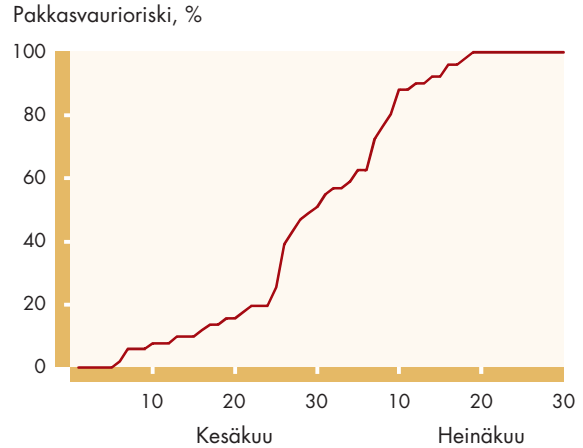
Metsäpuiden taimien pakkasvarastointia on käytetty Pohjois-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa metsänuudistamisessa menestyksellisesti yli viidenkymmenen vuoden ajan. Menetelmän avulla voidaan pidentää lepotilassa olevien taimien istutusikkunaa alkukesään, mikä osaltaan lieventää kevään istutusruuhkaa. Taimien on todettu kestävän elinkykyisinä pitkiäkin varastointiaikoja, joten kasvuunlähddsössä ei ole yleensä ollut ongelmia myöhäisissäkään istutuksissa. Pitkä pakkasvarastointi lyhentää kuitenkin taimien kasvukautta, mikä saattaa kasvatata pakkasvaurioiden riskiä syksyllä. Tällainen vaara on olemassa silloin, kun kesä on tavallista viileämpi ja pakkaset alkavat tavallista aikaisemmin. Terminen kasvukausi jää tällöin luontaisestikin tavanomaista lyhyemmäksi, jolloin sen lyhentyminen pakkasvarastoinnin vuoksi saattaa olla taimille kriittistä. Tai-

mien karaistuminen syksyllä saattaa viivästyä siinä määrin, että taimet vaurioituvat ja pahimmassa tapauksessa tuhoutuvat syksyn ensimmäisten pakkasten tullessa.

Pakkasvarastoinnin päättymisajankohdan vaikutusta kuusentaimien pakkasvaurioriskiä syksyllä on tutkittu kenttäkokeiden avulla. Nämä kokeet vastaavat käytännön metsänuudistamisketjussa toteutuvaa tilannetta, minkä vuoksi kokeista saadaan sinänsä luotettavaa informaatiota käytännön metsänuudistamista varten. Ongelmana kokeellisessa menetelmässä on ilmaston suuri vuosien välinen vaihtelu. Jos kesä sattuu olemaan koetta toteutettaessa tavanomaista lämpimämpi, niin pakkasvaurioita ei havaita sellaisen pitkänkään pakkasvarastoinnin tapauksessa, minkä seurauksena pakkasvaurioita olisi ilmaantunut syksyllä tavanomaisen kesän jälkeen. Tällöin myöhäisen pakkasvarastoinnin päättymisen aiheuttama pakkasvaurioriski aliarvioituu. Tavanomaista viileämpi kesä tuottaa vastaavasti pakkasvaurioriskin yliarvion. Ilmaston vuosien välisen vaihtelun ottamiseksi huomioon koetta pitäisi jatkaa vuosikymmenien ajan, mikä ei ole käytännössä mahdollista.

Tässä tutkimuksessa tutkittiin tietokonesimulointien avulla pakkasvarastoinnin päättymisajankohdan vaikutusta kuusentaimien syksyiseen pakkasvaurioriskiä. Taimien vaurioitumista simuloitiin yksinkertaisen ekofysiologisen mallin avulla, missä taimien vaurioituminen määräytyy kahden taimien ekofysiologisia ominaisuuksia kuvastavan tunnuksen mukaan. Taimien pakkasvaurioriskiä simuloitiin kolmella paikkakunnalla: Jokioisilla, Jyväskylässä sekä Kajaanissa. Simuloinnin syötemuuttujina käytettiin pitkäaikaista lämpötila-aineistoa, tutkimuspaikkakunnasta riippuen aineiston pituus vaihteli 44 ja 51 vuoden välillä. Kutakin pakkasvarastoinnin päättymispäivää vastaava pakkasvaurioriski laskettiin niiden vuosien osuutena kaikista vuosista, jolloin vaurio syntyi simuloinneissa. Pakkasvaurioriski laskettiin tällä tavoin kullekin kolmelle tutkimuspaikkakunnalle 60 eri pakkasvarastoinnin päättymispäivää varten, jotka vaihtelivat kesäkuun 1. ja heinäkuun 30. päivän välillä.

Mallin ekofysiologisten tunnusten arvot eivät ole tiedossa, minkä vuoksi ne jouduttiin määrittämään kutakin kolmea tutkimuspaikkakuntaa varten epäsuoran päättelyn avulla. Tästä aiheutuva epävarmuutta pyrittiin vähentämään herkkyysoanalyysin avulla. Herkkyysoanalyysistä huolimatta Jokioisten



Kuva 1. Kuusentaimien syksyisen pakkasvaurioriskin riippuvuus taimien pakkasvarastoinnin päättymisajankohdasta Jyväskylässä. Tulos perustuu yksinkertaistetun ekofysiologisen mallin avulla tehtyyn simulointiin, jossa käytettiin syötemuuttujina Jyväskylässä vuosina 1952–2002 kerättyä ilman lämpötila-aineistoa.

ja Kajaanin tuloksia tulee pitää vain viitteellisinä, joten niillä on merkitystä pikemminkin kokeellisen tutkimuksen suuntaamisen kuin suoranaisesti käytännön metsänuudistamisen kannalta. Jyväskylän kohdalla oli mahdollista testata epäsuoran päättelyn avulla määritettyjä tunnusten arvoja aikaisemmin raportoidussa riippumattomassa kenttäkokeessa kahtena vuotena kerätyn aineiston avulla. Tässä tutkimuksessa käytetyn mallin ennusteet vastasivat riippumattomassa kenttäkokeessa saatuja tuloksia, mikä lisää oleellisesti epäsuoraan päättelyyn perustuvan mallin luotettavuutta. Tämän vuoksi Jyväskylän laskennallisia tuloksia voidaan käyttää ohjeena käytännön metsänuudistamisessa. Jyväskylänkin tuloksiin liittyy monista eri tekijöistä aiheutuva epävarmuus, jota kartoitettiin myös Jyväskylän tapauksessa herkkyysoanalyysin avulla. Tässä selosteessa raportoidaan kuitenkin vain todennäköisimmillä tunnusten arvoilla saadut tulokset ilman herkkyysoanalyysin tuloksia.

Simuloitu pakkasvaurioriski oli nolla kun pakkasvarastointi päättyi 1.–5. kesäkuuta. Tämän jälkeen pakkasvaurioriski alkoi kasvaa suoraviivaisesti pakkasvarastoinnin päättymispäivän siirtyessä myöhemmäksi. Kesäkuun 15. päivänä riski saavutti arvon 10 % ja kesäkuun 22. päivänä 20 % (kuva 1). Tutkimuksen

epävarmuustekijöistä aiheutuvien varauksien tuloksista voitiin siis johtaa karkea nyrkkisääntö käytännön metsänuudistamista varten Jyväskylän alueella: Päätettäessä pakkasvarastointi touko-kesäkuun vaihteessa syksyisen pakkasvaurion riski on häviävän pieni. Päätettäessä pakkasvarastointi kahta viikkoa myöhemmin, 15. kesäkuuta, pakkasvaurioita ilmaantuu syksyllä joka kymmenentenä vuonna ja päätettäessä varastointi vastaavasti kolme viikkoa myöhemmin, 22. kesäkuuta, vaurioita ilmaantuu joka viidentenä vuonna. Tätä pidemmissä pakkasvarastoinneissa syksyisen pakkasvaurion riski kasvaa nopeasti (kuva 1). Nämä tulokset koskevat mikroilmastoiltaan Jyväskylän ilmastoasemaa vastaavia uudistamisalueita. Hallanaroilla paikoilla pakkasvaurion riskit ovat luonnollisesti suurempia.

Tutkimuksesta saatiin lisävalaistusta ilmaston suuren vuosien välisen vaihtelun kokeelliselle tutkimukselle aiheuttamiin ongelmiin. Simulointituloksissa havaittiin monia useiden vuosien jaksoja jolloin pakkasvaurioita ei ennustettu tapahtuvan vaikka pakkasvarastointi päätettiin niinkin myöhään kuin kesäkuun 22. päivänä. Yksi tällainen jakso ulottui 1960-luvun puolivälistä 1970-luvun puoliväliin. Tuona noin kymmenen vuoden mittaisena lämpimien kesien ajanjaksona toteutettujen kenttäkokeiden tulokset olisivat siis viitanneet siihen, että pakkasvarastoinnin päättäminen 22. kesäkuuta on riskitöntä, kun riski on todellisuudessa pitkällä aikavälillä 20 %. Tämä havainto osoittaa myös tietokonesimulointien käyttökelpoisuuden arvioitaessa pakkasvarastoinnin pidentämiseen liittyviä riskejä. Tietokonesimuloinnit täydentävät hyvin kenttäkokeista saatua informaatiota, koska simulointien avulla voidaan tutkia pitkiä ajanjaksoja, mikä ei ole kenttäkokeissa mahdollista. Toisaalta on muistettava, että tietokonesimulointien tulokset ovat aina yhtä luotettavia kuin ovat niissä käytetyt mallit. Tämän vuoksi malleja on testattava kokeellisen tutkimuksen avulla senkin jälkeen, kun ne ovat läpäisseet ensimmäiset kriittiset testit. Tämän tutkimuksen simulointituloksista saatiin arvokasta tietoa myös mallien testaamiseksi tehtävien kokeiden suunnittelua varten.

■ Prof. Heikki Hänninen, Helsingin yliopisto, biotieteiden laitos; MMT Jaana Luoranen, MMT Risto Rikala ja dos. Heikki Smolander, Metla, Suomenjoen toimipaikka. Sähköposti heikki.hanninen@helsinki.fi

Raili Hokajärvi, Teppo Hujala,
Leena A. Leskinen ja Jukka Tikkanen

Informaatio-ohjauksen vaikuttavuus: toiminnan teoriaan perustuva metsäsuunnittelutyön analyysi

Seloste artikkelista: Hokajärvi, R., Hujala, T., Leskinen, L.A. & Tikkanen, J. 2009. Effectiveness of sermon policy instruments: Forest management planning practices applying the Activity Theory approach. *Silva Fennica* 43(5): 889–906. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf435889.pdf>

Yksityismetsien metsäsuunnittelu on tärkeä metsäpoliittinen informaatio-ohjauksen keino, jonka sisältöä ovat viime aikoina haastaneet kansainväliset paineet metsäluonnon monimuotoisuuden turvaamiseksi ja metsäalan yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden vahvistamiseksi. Muuttuvan metsänomistajakunnan neuvonnalta odotetaan monitavoitteisuutta ja metsäpoliittista vaikuttavuutta. Perinteisesti metsäsuunnittelun vaikuttavuutta on lähestytty suoritustuotosten, kustannustehokkuuden ja metsässä toteutettujen toimenpiteiden kautta. Tulevaisuudessa vaikuttavuutta tulisi arvioida laajemmin esimerkiksi prosessien uusiutumisen ja toimintatapojen kehittymisen kautta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata prosessien arviointiin ja kehittämiseen soveltuva käsitelmä ja tuottaa sitä empiirisesti soveltamalla tietoa metsäsuunnittelujärjestelmän kehittämiseen.

Tutkimuksessa sovellettiin uudenlaista lähestymistapaa, toiminnan teoriaa (Activity Theory), metsäsuunnittelun vaikuttavuuden arvioinnissa. Toiminnan teoriassa analyysin perusyksikkö on toimintajärjestelmä, joka on kohdesuuntautunut, materiaalisesti ja kulttuurisesti välittynyt malli inhimillisestä toiminnasta (työstä). Tämän tutkimuksen aineistoksi kerättiin 19 suomalaisen metsäsuunnittelijan haastattelut kolmen eri metsäkeskuksen alueelta. Metsäsuunnittelijoiden omaa työtä käsitteleviä haastatteluja analysoimalla pyrittiin selvittämään, miten metsäsuunnittelulle asetetut metsäpoliittiset tavoitteet toteutuvat käytännön työssä. Analysointia ohjasivat toiminnan teoriaan pohjautuvat kysymykset metsäsuunnittelijan työn kohteesta ja tuloksesta sekä

motiivista. Vaiheittain edenneen analyysin tuloksena haastatelluista löydettyjä keskeisiä ilmiöitä (nimettyinä: metsä, metsäomistaja, hyvä metsänhoito ja alueellinen tiedonkeruumenettely) tarkasteltiin edelleen toiminnan teorian näkökulmasta ja raportointiin suunnitteluun liittyvinä käytäntöinä, ristiriitoina ja kehittämisesityksinä. Analyysissa oli mukana useita tutkijoita ja lisäksi systemaattisuutta laadulliseen analyysiin saatiin NVivo 7 -ohjelmiston avulla. Alustavia tuloksia esiteltiin sekä metsäsuunnittelijoille että useille suunnittelun asiantuntijoille, ja samalla kerättiin palautetta analyysin osuvuudesta.

Tutkimuksen tuloksena kuvattiin metsäsuunnitteluprosessin yleistä kulkua ja siihen liittyvää vaihtelua. Metsäsuunnittelulla nähtiin kaksi kohdetta: metsä ja metsänomistaja. Suunnittelulla halutaan käynnistää toimenpiteitä metsässä ja yleisenä tavoitteena on metsän hyvä kasvukunto. Metsänomistajalle tehtävä metsäsuunnitelma puolestaan on konkreettinen tulos; sen kautta vaikutetaan metsänomistajan tietoihin ja käyttäytymiseen. Metsänomistajalle halutaan tuottaa hyötyä. Suunnittelijan täytyy työssään yhdistää metsässä tehtävä ja maanomistajan kanssa tehtävä työ, mikä aiheuttaa ristiriitoja. Suunnittelijat kokevat, että yhteydenpito metsänomistajan kanssa on tärkeää työn vaikuttavuuden kannalta. Kuitenkin työssä mitataan suunnittelun pinta-alaa ja maastointointi vie paljon työaika. Aikaa metsänomistajalle ei ole riittävästi. Suunnittelijat kokevat painetta metsänomistajan entistä parempaan huomioon ottamiseen suunnitteluprosessissa. Paineet suunnittelun tehokkuudesta ja vaikuttavuudesta ovat ristiriidassa suunnittelijan työssä.

Suunnittelu näyttää jakaantuvan kahteen toisistaan poikkeavaan osaan: maastotiedon keruuseen ja neuvontaan. Tämä eriytyminen on huomattu myös useissa metsäsuunnittelun kehittämiseen liittyvissä julkaisuissa ja keskusteluissa. Tässä tutkimuksessa ehdotetaan nykyisen metsäsuunnittelun jakamista kahteen erilaiseen järjestelmään: a) *Informointijärjestelmän* kohteena olisi selkeästi metsä, jota koskeva tieto välitetään metsän omistajalle ja muille omistajan haluamille tahoille. Informaatiojärjestelmän perusta on yhteiskunnan metsille asettamissa tavoitteissa ja yhteiskunta tukee tiedon välitystä. Metsätiedon keruu ja ylläpito sekä tiedon välittäminen omistajalle ovat toiminnan olennainen sisältö, mutta siihen liittyy myös metsänomistajan akti-

voiminen metsien hoidossa. b) *Konsultoivan päätöksenteon tuen* lähtökohtana ovat metsänomistajan omat tarpeet ja aloitteen tekijä on metsänomistaja. Konsultoinnissa asiantuntija on puolueeton tuki, joka auttaa metsänomistajaa ilman että pyrkii vaikuttamaan tiettyjen tavoitteiden suuntaan. Informaatiojärjestelmän tuottama tieto on perusta konsultoinnille, jossa tarpeen mukaan kerätään lisätietoja.

Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että nykyinen suunnittelun toteutustapa ja aikataulu eivät palvele omistajalähtöistä toimintaa. Toinen pullonkaula on suunnittelun heikko kytkeytyneisyys metsässä tehtäviin toimenpiteisiin ja toimeksiantoihin. Nykyiset metsänhoitosuositukset ja ns. hyvä metsänhoito ohjaavat suunnittelua sekä maastossa että neuvontatyössä. Yleinen kansallinen hyvinvointi on suunnittelun lähtökohtana omistajakohtaisten tavoitteiden sijaan. Suunnittelijoiden kokemat ristiriidat kertovat muutostarpeesta ja suunnittelijoiden erilaiset toimintatavat puolestaan valmiudesta muutokseen. Asenteet ovat muuttumassa omistajalähtöisemmän suunnittelun suuntaan. Moninaistuvan metsänomistajakunnan käytännön tarpeisiin vastaaminen voi samalla vastata paremmin yhteiskunnan metsäpolitiikalle asettamiin monipuolisiin tavoitteisiin. Muutoksen aikaansaamiseen tarvitaan kuitenkin rakenteiden, organisaatioiden, ohjeistuksen ja koulutuksen muutoksen lisäksi poliittinen tahoto muuttaa nykyistä käytäntöä.

Metsäsuunnittelijoiden käsitykset työstään ja arkipäivän innovaatiot ovat aineistoa, jonka analyysin tuloksia voidaan hyödyntää osana metsäsuunnittelun kehitystyötä. Metsäsuunnittelun sosiaalinen ulottuvuus saadaan näin yhdeksi kehitystyön perustaksi. Käytännön toimijoiden aktiivisista kehitystyöhön voitaisiin jatkossa toteuttaa toiminnan teoriaan pohjautuvan kehittävän työntutkimuksen menetelmää soveltaen. Tämä tutkimus täydentää ja tuo erilaisen näkökulman myös aiempiin metsäammattilaisten asenteita kuvaaviin tutkimuksiin. Kansainvälisesti samantyyppinen tutkimus voitaisiin toteuttaa toisenlaisessa toimintaympäristössä ja hyödyntää sekä omassa kontekstissaan että vertailuna toimintaympäristöjen välillä.

■ MMM Raili Hokajarvi, MMT Jukka Tikkanen, Oulun seudun ammattikorkeakoulu, luonnonvara-alan yksikkö; MMT Teppe Hujala, Metla, Joensuun toimipaikka; HT, MMM Leena A. Leskinen, Itä-Suomen yliopisto, historia- ja maantieteiden laitos. Sähköposti raili.hokajarvi@oamk.fi